

COLECTORES DE ÁGUAS RESIDUAIS DE SECÇÃO CIRCULAR. UMA ABORDAGEM EXPLÍCITA DO DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Manuel Malafaya-Baptista

Professor Catedrático - Faculdade de Ciência e Tecnologia (UFP)

mmb@ufp.pt

Resumo

O dimensionamento de colectores de drenagem de águas residuais de secção circular implica, a nível de projecto, a necessidade de pré-dimensionar o diâmetro do colector e a apresentação da verificação dos valores de funcionamento hidráulico do colector, para os caudais de projecto máximo e mínimo. A possibilidade de recorrer a expressões analíticas de estrutura explícita (com precisão numérica adequada à precisão dos dados de projecto) relacionando as variáveis intervenientes no processo de cálculo permitirá uma maior simplicidade e rapidez na efectivação dos cálculos. Tal objectivo é obtido e fundamentado no presente trabalho.

Abstract

Wastewater circular pipes design implies the decision of pipe diameter sizing and the verification that its hydraulic parameters fulfill legal restrictions. The possibility of solving this problem by means of explicit analytical expressions (with suitable accuracy for design purposes) will lead to a faster and easier sequence of calculations. This aim is achieved and justified in the present paper.

1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento hidráulico dos colectores de águas residuais de secção circular, designadamente a verificação dos valores de funcionamento (sujeitos a restrições de índole regulamentar) implica, a nível de projecto, a apresentação da verificação dos valores de funcionamento hidráulico do colector, designadamente:

Conhecido o valor do caudal máximo (caudal na secção de jusante correspondente ao ano horizonte de projecto), para um dado material do colector e para uma dada inclinação desse mesmo colector:

- (i) diâmetro;
- (ii) altura da lâmina de água;
- (iii) velocidade média máxima.

Conhecido o valor do caudal mínimo (caudal na secção de montante correspondente ao ano zero do projecto) e nas condições previamente definidas pelo parágrafo anterior:

- (i) velocidade média mínima;
- (ii) tensão de arrastamento mínima.

Pelas suas características geométricas, o cálculo dos valores da altura da lâmina de água e da velocidade média do escoamento num colector de secção circular é particularmente laborioso, pelo facto de as expressões que quantificam as diversas variáveis intervenientes serem relativamente “pesadas”.

Por outro lado, o facto de ser uma secção fechada, conducente a expressões de estrutura não biunívoca em parte do seu domínio de aplicação, implica que o único método iterativo aplicável seja o método da bissecção, engenhoso mas de cálculo moroso.

Por essas razões, ainda hoje é prática comum o recurso a ábacos adimensionais, representando a solução gráfica das variáveis ($QR = Q / QD$) e ($VR = V / VD$) em função de ($HR = H / D$), variáveis que se explicitam nas expressões (9), (10) e (11) do presente trabalho, a partir da expressão de Manning-Strickler e da equação da continuidade aplicada a uma secção transversal do colector.

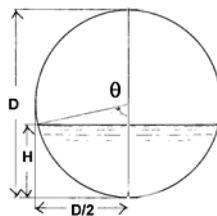
Qualquer dos dois métodos anteriormente referidos se torna, na actividade de projecto, como ferramenta de cálculo possível, mas pouco prática na actualidade, designadamente na sua conexão com outras ferramentas informáticas de uso generalizado, como a folha de cálculo.

A existência de um conjunto de expressões analíticas de estrutura explícita, com precisão numérica justificada pela precisão física da lei de dissipação de energia admitida, que permita a definição de uma sequência de cálculo para a determinação dos valores das variáveis intervenientes no processo de dimensionamento e verificação dos valores de funcionamento (impostos por condições regulamentares) permitirá uma maior simplicidade e rapidez na efectivação dos cálculos, para além de evitar a possibilidade de erros grosseiros que podem suceder no caso de ter de se recorrer à leitura dos valores no ábaco de variáveis adimensionais.

2. SECÇÃO CIRCULAR. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.

Apresentam-se as expressões analíticas que relacionam as variáveis que mais frequentemente intervêm no cálculo hidráulico de colectores de secção circular, de acordo com as notações representadas na Figura 1 (com os valores de (Θ) expressos em radianos).

Figura 1. Secção circular



Raio	$R = D / 2$	(1)
Altura da lâmina líquida	$H = R \cdot (1 - \cos \Theta)$	(2)
Área molhada	$S = R^2 \cdot (\Theta - \cos \Theta \cdot \sin \Theta)$	(3)
Perímetro molhado	$P = 2 \cdot R \cdot \Theta$	(4)
Raio hidráulico	$Rh = R \cdot (\Theta - \cos \Theta \cdot \sin \Theta) / (2 \cdot \Theta)$	(5)
Largura superficial	$B = 2 \cdot R \cdot \sin \Theta$	(6)

O facto de se tratar de uma secção fechada implica que o método iterativo a utilizar tenha como restrição valores de (Θ) tais que $(0 \leq \Theta \leq \pi)$.

Como tal, o único método aplicável para a resolução do problema do cálculo hidráulico de secções circulares parcialmente cheias é o método da bissecção.

3. ÁBACO DE VALORES ADIMENSIONAIS

A resolução do problema através das expressões e do método iterativo referidos anteriormente envolve uma pesada carga de cálculo numérico.

Na prática habitual de projecto, é frequente por parte dos projectistas o recurso à solução por via gráfica da determinação dos valores de (Q (H)) e de (V (H)).

O correspondente procedimento remete para a utilização do ábaco de valores relativos (HR), (QR) e (VR), o qual traduz graficamente a resolução do problema utilizando:

- i) a expressão de Manning-Strickler para quantificar a lei de dissipação de energia no escoamento com superfície livre,

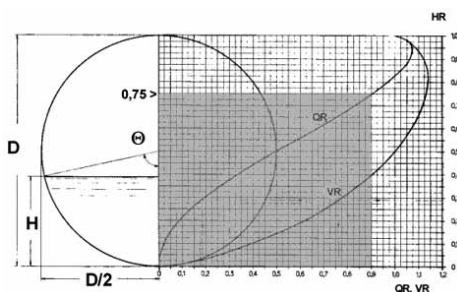
$$V = Kms \cdot Rh^{2/3} \cdot j^{1/2} \quad (7)$$

- Kms coeficiente de resistência de Manning-Strickler
- i inclinação do colector
- ii) a equação da continuidade aplicada a uma secção transversal do colector,

$$Q = Kms \cdot S \cdot Rh^{2/3} \cdot j^{1/2} \quad (8)$$

A configuração do ábaco de variáveis adimensionais (HR), (QR) e (VR) é a que se apresenta na Figura 2 (Lencastre, 1969).

Figura 2. Ábaco de valores relativos (HR), (QR), (VR)



$$HR = H / D \quad (9)$$

$$QR = Q / QD \quad (10)$$

$$VR = V / VD \quad (11)$$

(VD) e (QD) correspondem aos valores da velocidade média do escoamento e do caudal para a configuração de secção cheia.

$$VD = Kms \cdot (D/4)^{2/3} \cdot j^{1/2} \quad (12)$$

$$QD = VD \cdot (\pi \cdot D^2) / 4 \quad (13)$$

A sequência habitual do cálculo é, conhecido o valor do caudal a escoar (Q), o material do colector (através da quantificação do coeficiente de Manning-Strickler, Kms) e a inclinação deste (i), a que seguidamente se esquematiza:

- a) Determinar (QD)
- b) Determinar (QR)
- c) Ler no ábaco (HR) e (VR) correspondentes ao (QR) determinado em (b)
- d) Determinar (H = HR \cdot D)
- e) Determinar (V = VR \cdot VD)

É um procedimento moroso e susceptível de ocasionar erros durante a leitura e registo dos valores lidos no ábaco.

4. EXPRESSÕES EXPLÍCITAS UTILIZADAS.

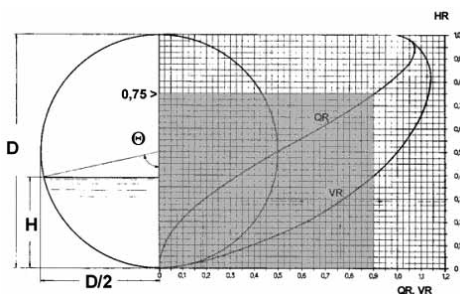
As restrições regulamentares para efeitos de dimensionamento de colectores de águas residuais impõem que, em qualquer situação, deverá satisfazer-se a condição

$$HR \leq 0,50 \quad D \leq 500 \text{ mm} \quad (14)$$

$$HR \leq 0,75 \quad D > 500 \text{ mm} \quad (15)$$

A estas restrições correspondem, no ábaco de valores relativos, valores de (QR) e de (VR) situados na área que se identifica a sombreado na Figura 3.

Figura 3. Valores de (QR) e de (VR) para (HR) <= 0,75



Na área indicada a sombreado, as relações

$$QR = F1 (HR) \quad (16)$$

e

$$VR = F2 (HR) \quad (17)$$

são biunívocas, não ocorrendo portanto a situação correspondente a instabilidade hidráulica que se verifica para situações de escoamento próximas da secção cheia.

Esta circunstância sugere a possibilidade de obter expressões analíticas de estrutura explícita que permitam, com precisão numérica adequada, ser introduzidas no segundo membro das expressões (16) e (17).

Para alcançar esse objectivo, recorre-se a metodologias anteriormente apresentadas, em escoamentos sob pressão, Malafaya-Baptista, 1983 [2], Malafaya-Baptista, 1985 [3].

A análise exaustiva dos valores numericamente exactos da solução correspondente à utilização da expressão de Manning-Strickler (de precisão física limitada) e a sua validação por análise comparativa dos valores obtidos permitiu a obtenção (Malafaya-Baptista et al., 1989), (Malafaya-Baptista, 2006), das expressões que se apresentam em (18) e (19).

$$HR = 0,603 \cdot QR^{0,466} \cdot \exp(0,282 \cdot QR) \quad (18)$$

$$VR = 1,139 - 1,419 \cdot (0,850 - HR)^{2,245} - 0,196 \cdot \exp(-47,6 \cdot HR) \quad (19)$$

- HR (QR)	Desvios máximos	[-0,7 % ; +1,0 %]
- VR (HR)	Desvios máximos	[-3,6 % ; +1,6 %]

Com as expressões propostas, como se demonstra nos trabalhos [4] e [5] anteriormente identificados, os resultados obtidos têm uma precisão numérica perfeitamente ajustada, para aplicação em projecto de redes de drenagem de águas residuais, à precária precisão física que ainda permanece no modelo de dissipação de energia que se tem de adoptar em escoamentos com superfície livre (correspondente à configuração de escoamento turbulento-rugoso).

4. APLICAÇÃO EM PROJECTO. CONCLUSÃO

Na prática de projecto, as expressões propostas permitem, esquematizar uma sequência de cálculo, de estrutura explícita, extremamente simples de efectuar recorrendo, por exemplo, a uma folha de cálculo informática.

a) Quantificar (Q) - Q máximo ou Q mínimo

b) Determinar (VD) - Expressão (12)

c) Determinar (QD) - Expressão (13)

d) Determinar (QR) - Expressão (10)

e) Determinar (HR) - Expressão (18)

f) Determinar (VR) - Expressão (19)

g) Determinar $H = HR \cdot D$

h) Determinar $V = VR \cdot VD$

i) Determinar ($Rh = VR^{1,5} \cdot D / 4$)

j) Determinar o valor da Tensão de arrastamento ($Ft = \gamma \cdot Rh \cdot i$); (γ - peso volúmico das águas residuais)

REFERÊNCIAS

LENCASTRE, A. (1969). *Manual de Hidráulica Geral*. Lisboa, Edição Técnica, A.E.I.S.T.

MALAFAYA-BAPTISTA, M. (1983). Ajuste de Pares de Valores «x,y». Controlo da sua Precisão. In: *Revista Engenharia*, Nº. 2, Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

MALAFAYA-BAPTISTA, M. (1985). Energy Losses in Turbulent Flows. An Explicit Alternative Solution to the Colebrook-White Function. *4th International Conference on Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow*, Swansea, Wales, United Kingdom.

MALAFAYA-BAPTISTA, M. E PROENÇA, M. F. (1989). Explicit Solutions for Normal Depth Determination in Partially Full Circular Sections. *6th International Conference on Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow*, Swansea, Wales, United Kingdom.

MALAFAYA-BAPTISTA, M. (2006). Cálculo Hidráulico de Colectores de Secção Circular. Solução Explícita para a Determinação da Velocidade Média do Escoamento. *12^o Encontro Nacional de Saneamento Básico*, Cascais, Portugal.